View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Revistas UTP

Evaluación de biochar como alternativa de sustrato en cultivos de tomate

Evaluation of biochar as substrate alternative in tomato cultives.

Margarita Gallo-Saravia, Luis Lugo-Sierra, Rolando Barrera-Zapata
Grupo CERES, Departamento de ingeniería química, Facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia
rolando.barrera@udea.edu.co

***Resumen*— La transformación termoquímica de biomasa para generar potencia eléctrica produce como residuo sólido el biochar, material que de acuerdo a sus propiedades puede ser utilizado en diversas aplicaciones, entre ellas la mejora de los suelos de cultivo. En el presente trabajo se evalúan dos tipos específicos de biochar como potencial sustitutos de sustrato en cultivos de pequeña escala a cielo abierto. Tomando como referencia un cultivo de Solanum lycopersicum (tomate) se observó el efecto sobre el desarrollo de las plantas y la cosecha (cantidad, diámetro y peso de los frutos) al sustituir el sustrato comercial por biochar en proporciones de 0, 20, 50, 80 y 100%. Se observó que con sustituciones del 20% y el 50% de sustrato por biochar, las plantas tienen un desarrollo normal y la producción de tomate es comparable al obtenido en ausencia de biochar; sin embargo, al sustituir el 80% o el 100% del sustrato por el biochar, el efecto en el crecimiento de las plantas es negativo, aparentemente por la ausencia de nutrientes. Estos resultados vistos desde un enfoque económico y ambiental son bastante satisfactorios, pues usar 20% o 50% de biochar pueden representar ahorros significativos para el agricultor (menor uso de sustratos) a la vez que dan utilidad a desechos agroindustriales (biochar)).**

***Palabras clave*— Biochar, cosecha a pequeña escala, cultivo de tomate, residuos agroindustriales.**

***Abstract*— The thermochemical transformation of biomass, i.e., to generate electrical power, produces a solid residue named biochar. Biochar properties allow using it in different applications, including soil amendments. In this work, two specific types of biochar are evaluated as potential substrate substitutes in open small-scale cultures. A crop of Solanum lycopersicum (tomato) was used as reference, and the effect on plant development and harvest (number, diameter and weight of fruits) was observed when replacing the commercial substrate by biochar in proportions of 0, 20, 50, 80 and 100%. It was observed that with substitutions of 20% and 50% of substrate by biochar, the plants show a normal development and the tomato production is comparable to the one obtained in the absence of biochar; However, when replacing 80% or 100% of the substrate by biochar, the effect on plant growth is negative, apparently due to the absence of nutrients. From an economic and environmental perspective, these results are quite satisfactory; since using 20% or 50% of biochar can represent significant savings for the farmer (less use of substrates), while also giving utility to agro-industrial waste (biochar).**

***Key Word* — Biochar, small scale crop, tomato culture, agro-industrial wastes**

I. INTRODUCCIÓN

En muchas actividades agroindustriales se genera gran cantidad de residuos, cuya disposición final suele ser dificultosa bien sea por su naturaleza, las condiciones específicas (ambientales, geográficas, políticas o socioculturales) donde se producen o el espacio que ocupan. La transformación de dichos residuos y de cualquier biomasa lignocelulósica en general, a través de procesos termoquímicos como pirolisis o gasificación, es de particular importancia ya que permiten transformar la biomasa residual en productos gaseosos (gas de síntesis útil para la generación de potencia o su posterior transformación en biocombustibles o productos químicos), líquidos (principalmente alquitranes) y sólidos (biochar) [1,2]. En procesos que usan la transformación termoquímica de biomasa y biomasa residual para la obtención de gas de síntesis o para la generación de potencia, los subproductos sólidos (biochar) pueden representar entre el 5% y el 20% de la materia prima y suelen ser descartados como desechos; por tal motivo, numerosos estudios se han enfocado en la caracterización y usos del biochar, resaltando su potencial aplicabilidad para secuestrar o capturar carbón, inmovilizar contaminantes, reducir o atrapar gases efecto invernadero, fertilizar o remediar suelos y como filtro para la purificación de aguas, entre otras [3,4]. Las propiedades específicas del biochar dependen de factores como la naturaleza y composición de la materia prima, las condiciones del proceso termoquímico, el tamaño de partícula y las condiciones ambientales donde se aplica [3,4].

Diversos estudios atribuyen a varios fenómenos fisicoquímicos el potencial efecto positivo del uso de biochar

Fecha de Recepción: 17 de enero de 2018
Fecha de Aceptación: 25 de junio de 2018

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

como enmendador o acondicionador de suelos, entre los cuales se destacan su capacidad para retener nutrientes (como N, P y Mg, entre otros) y mantenerlos disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la capacidad de modificar el pH del suelo, el incremento en la capacidad de intercambio catiónico del suelo, su influencia en el cambio de propiedades físicas del suelo (como por ejemplo el incremento en la capacidad de retención de agua), y su efecto en la cantidad y funcionalidad de las bacterias y microbios presentes en el medio [5-10]. Sin embargo, el mecanismo por el cual se dan estos fenómenos no es aún del todo claro [5]; de hecho, no solo las características del biochar, sino también las condiciones locales (como clima, y composición natural del suelo), afectan los resultados del uso de biohcar como enmendador de suelos o en la respuesta que se observe en el crecimiento y desarrollo de las plantas [5].

En Colombia, la producción de gas de síntesis mediante la gasificación de biomasa se presenta como alternativa técnicamente viable para la generación de potencia en mediana escala para zonas no interconectadas [1,11]; proceso que permitiría disponer del biochar obtenido como subproducto para mejorar los suelos o cultivos de dichas zonas. En ese sentido, en el presente estudio se evalúa la aplicación de biochar como potencial sustituto de sustratos en cultivos a pequeña escala de especies agrícolas representativas de Colombia. Para tal fin, se seleccionó la especie *Solanum lycopersicum* (tomate), ya que en nuestro país su cultivo es generalizado en cuanto a la distribución de terreno dedicado a dicha actividad y además su tiempo de cultivo y cosecha es relativamente corto, en comparación con otras especies comunes a nivel nacional. La evaluación del biochar como sustituto de sustrato se realizó siguiendo protocolos definidos en las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas [12,13].

II. METODOLOGÍA

A. Obtención y caracterización del biochar

Para el estudio se evaluaron dos tipos diferentes de biochar: el primero de ellos corresponde a biochar obtenido como subproducto de la gasificación en lecho fijo contracorriente de residuos de madera de pino pátula (en adelante denominado BCP). Este material fue suministrado por el grupo de investigación CERES - agroindustria & ingeniería de la facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia, en donde se obtuvo como subproducto de un estudio donde se evalúan alternativas de integración de la madera plantada en Colombia bajo conceptos de biorefinería. El segundo material corresponde a biochar obtenido como subproducto de la generación de potencia a partir de la gasificación de cascarilla de arroz en un gasificador de lecho fijo equicorriente (en adelante BCA), y fue suministrado por el grupo Termodinámica y Energías Alternativas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Los materiales (BCP y BCA) se caracterizaron por análisis próximo y último. El análisis próximo se obtuvo mediante análisis termogravimétrico utilizando un analizador modelo Q500 V20.13 Build 39, de la marca TA Instruments. La humedad se determinó por pérdida de peso en atmósfera de nitrógeno a 120°C, la materia volátil se determinó incrementando la temperatura a razón constante de 40°C/min hasta 800°C, temperatura a la cual se determinó el carbono fijo y el contenido de cenizas, estas últimas en atmósfera de oxígeno. El análisis último se realizó en un analizador elemental modelo TruSpec micro, de la marca LECO con detectores IR. El análisis se realizó con helio como gas de arrastre en un ambiente de oxígeno, a 1000°C para determinar el contenido elemental de carbono, hidrógeno y nitrógeno, a 1200°C para la cuantificación del contenido de oxígeno y a 1300°C para el contenido de azufre.

B. Cultivo del tomate

Los cultivos se realizaron a cielo abierto entre junio y octubre de 2016 en la ciudad de Medellín. Se usaron semillas de la variedad de tomate Milano tropic, con pureza del 99% y taza de germinación del 85%, distribuidas por la compañía “Impulsemillas”. La tierra empleada fue de la marca “Fercon”, mejorada con pH neutralizado y humedad controlada. Como sustrato se usó humus comercial de la marca “Lumus”. Para el cultivo de los tomates se siguieron los lineamientos sugeridos por las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) [12,13], preparando los medios de cultivo como una mezcla con cuatro partes de tierra, dos partes de materia orgánica o sustrato y una parte de arena (4:2:1). Para la investigación, el contenido de sustrato comercial se reemplazó por biochar en diferentes proporciones (tabla 1). Considerando eventuales aspectos no controlables durante el desarrollo de los experimentos como la tasa de germinación de las semillas o el eventual ataque de plagas, las plantas con sustitución de biochar del 20%, 80% y 100% (tabla 1) se sembraron por duplicado y las plantas con 50% de biochar por cuadruplicado, para un total de 22 plantas sembradas.

Biochar/planta	testigo	1	2	3	4
BCP	0%	20%	50%	80%	100%
BCA	0%	20%	50%	80%	100%

Tabla 1. Proporción (%) de sustrato reemplazado por biochar para la experimentación.

El cultivo de los tomates se siguió de acuerdo a las BPA [12,13]. Para la siembra se utilizaron macetas de 7 cm de diámetro (usando 3 semillas en cada una). Diez días después de la siembra se realizaron las pruebas de germinación que consisten en seleccionar los ejemplares con mejores características (dos pares de hojas con forma definida de tridente) para continuar el proceso. Estos se mantuvieron por 40 días con riegos de agua regulares. Posteriormente se trasplantaron a macetas de 24 cm de diámetro que facilitan un

crecimiento radicular amplio. Después del trasplante, además de riegos de agua continuos, se realizaron podas y control de malezas recomendadas en las BPA. Adicionalmente, durante el cultivo se realizaron dos fertilizaciones: unos 30 días después de la siembra y otros 60 días después del trasplante. En ambos casos se usó fertilizante comercial "Triple 15". Para observar el desarrollo de las plantas, durante todo el experimento se realizó la medición periódica de sus dimensiones y se hizo registro fotográfico de su aspecto. La cosecha (recolección de frutos) se llevó a cabo 80 días después del trasplante, registrando cantidad, diámetro y peso de los frutos recolectados en cada planta. Una vez recogida la cosecha, se suspendió totalmente el riego y se mantuvo en observación las plantas durante 3 días.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Caracterización del biochar

En la tabla 2 se presenta la composición del biochar de acuerdo a los análisis próximo y último. Se observa del análisis próximo que el BCA tiene mayor contenido de cenizas que el BCP, pero menor cantidad de volátiles y carbono fijo, lo cual puede darse por las condiciones de transformación durante los respectivos procesos termoquímicos. Del análisis próximo (libre de humedad y ceniza) se destacan las diferencias en el contenido de N y O (superiores en BCA) y C (superior en BCP). Tales diferencias pueden significar o explicar eventuales diferencias en el efecto del biochar sobre el desarrollo de las plantas

Parámetro	BCP	BCA
Análisis último en base seca y sin ceniza (% peso)		
C	75,22	56,82
H	3,59	1,12
N	2,10	3,43
S	0,00	0,00
O	19,09	38,63
Análisis próximo en base húmeda (% peso)		
Cenizas	22,71	74,28
Humedad	3,40	3,46
Carbono fijo	51,64	14,87
Material volatil	22,25	7,39

Tabla 2. Análisis próximo y último para biochar de pino (BCP) y biochar de cascarilla de arroz (BCA).

B. Cultivo del tomate

Durante los primeros 10 días del cultivo, 3 de las 24 plantas no presentaron germinación, correspondientes a una de las plantas BCA 20%, una de las plantas BCA 50 % y una de las plantas BCA 100%, posiblemente por factores aleatorios en la tasa de germinación de la semilla (85% según el proveedor), toda vez que sus respectivos duplicados germinaron con normalidad. En general, el desarrollo inicial de las plantas testigo fue superior al de los ejemplares sembrados en medios con reemplazo de sustrato. La diferencia se evidenció en cuanto al crecimiento, desarrollo de hojas y grosor del tallo, haciéndose mayores las diferencias con el aumento de la proporción de biochar usado en la siembra (a mayor proporción de biochar, mayor retraso en el desarrollo). A manera de ejemplo, la fig. 1 muestra la comparación entre plantas testigo y BCP (20%).



Figura 1. Comparación desarrollo inicial de las plantas: testigos (izquierda); BCP (20%) (derecha).

Antes de la primera fertilización, algunas plantas con biochar (independiente de su proporción) comenzaron a exhibir coloración violeta en el envés de sus hojas y en el tallo, fenómeno asociado a una deficiencia de fósforo en el medio de cultivo [13]. No obstante, luego de la aplicación del fertilizante se observó un cambio sustancial (positivo) en el crecimiento de la mayoría de las plantas con biochar, excepto para una de las plantas BCP 80% y para las dos plantas BCP 100%, en las cuales el desarrollo radicular fue casi nulo y aparentemente la raíz no tuvo capacidad para absorber los nutrientes aplicados con el fertilizante.

Después del trasplante, el desarrollo foliar de las plantas BCP 20% y BCP 50%, así como el de las plantas BCA 20%, BCA 50% y BCA 80% fue muy similar al de las plantas testigo, mientras que algunas especies con alta proporción de biochar (la planta restante BCP 80% y la planta restante BCA 100%) presentaron retrasos físicos en su desarrollo. La fig. 2 permite comparar el desarrollo físico de las plantas 10 días después del trasplante.

Alrededor de 30 días después del trasplante comenzaron a aparecer los primeros racimos de flores en el cultivo. La etapa de floración es crucial ya que antecede el brote de los frutos. Esta etapa se observó inicialmente en la planta BCA 20% y en pocos días en todas las demás (incluyendo los testigos), exceptuando las plantas BCP 80% y BCA 100% que no florecieron ya que aparentemente no llegaron a su total madurez. Cabe anotar que por ser un cultivo a cielo abierto, la polinización que promueve la floración dependerá (además del desarrollo de la planta) de factores como insectos que interactúen con las plantas y corrientes de aire.

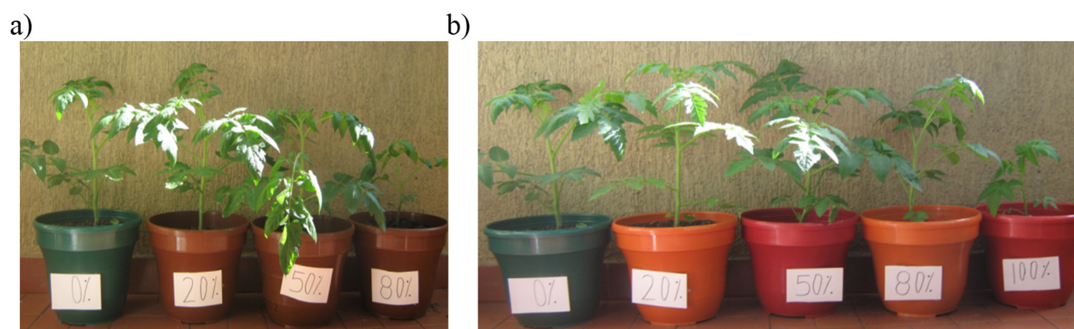


Figura 2. Comparación: Desarrollo de las plantas 10 días después del trasplante, a) BCP; b) BCA

Los primeros frutos se observaron 12 días después de la floración en las plantas BCP 20% y BCP 50% y continuaron apareciendo en las demás durante los días siguientes. En los testigos (plantas sin biochar) los frutos tardaron en aparecer casi dos semanas más, aunque su desarrollo fue normal de acuerdo a lo esperado [12,13], es decir, los frutos en las plantas con biochar podrían considerarse como prematuros.

En general, se observó que las plantas en medios con BCA formaban racimos de frutos de mediano tamaño distribuidos en varias de las ramas principales, mientras los medios con BCP formaban un solo racimo con frutos de mayor dimensión (similar a los testigos). La planta restante BCA 80% dio frutos de mediano tamaño, siendo este un resultado inesperado dadas las observaciones durante toda la experimentación (fue la única planta con sustitución de biochar 80% que llegó hasta la etapa de cosecha). A manera de ilustración la figura 3 muestra la comparación entre los frutos de los testigos y algunas plantas con biochar días antes de la cosecha.

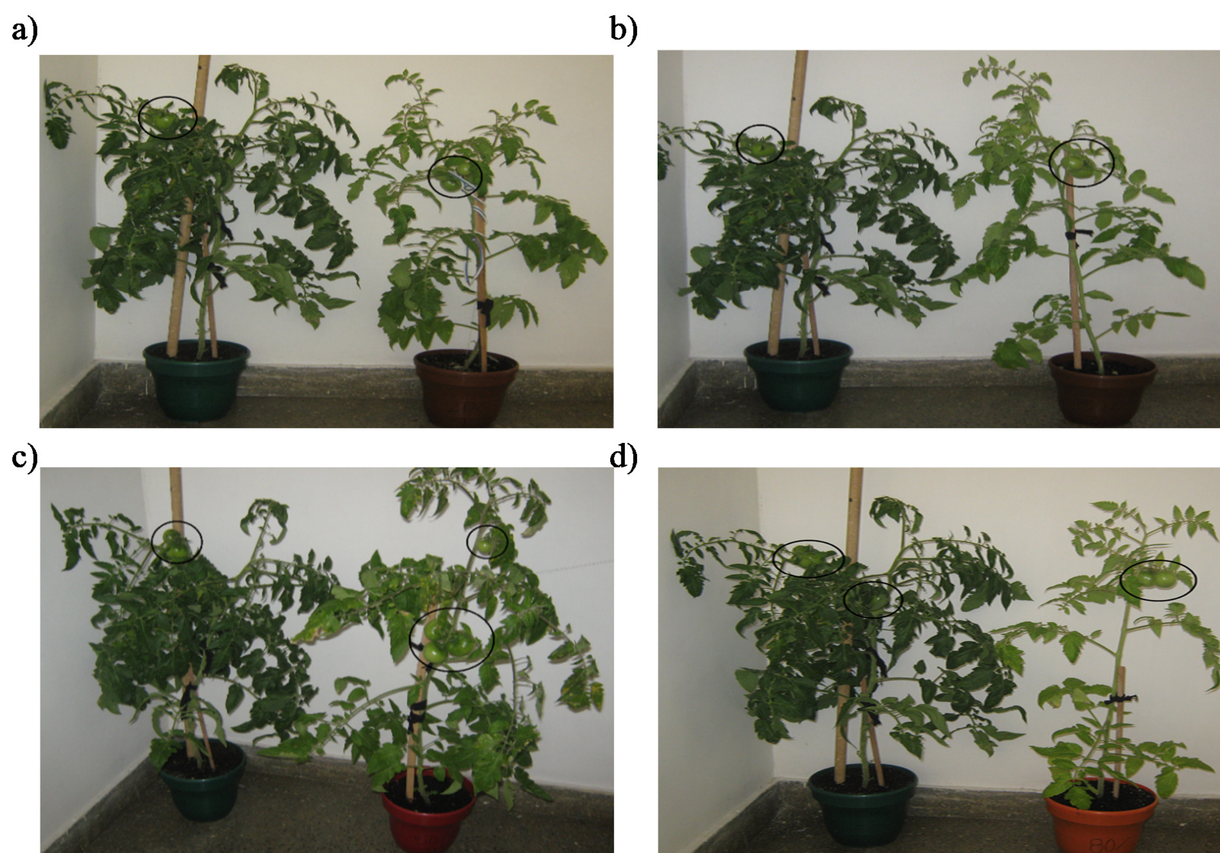


Figura 3. Comparación de frutos antes de la cosecha, a) testigo (izquierda) – BCP 20% (derecha), b) testigo (izquierda) – BCP 50% (derecha), c) testigo (izquierda) – BCA 50% (derecha), d) testigo (izquierda) – BCA 80% (derecha)

Los frutos se cosecharon 80 días después del trasplante, es decir, 120 días después de la siembra. Dado que se observaron diferencias en tamaño, peso y cantidad de frutos por planta, y que no todas las 24 plantas iniciales culminaron hasta esta etapa, la comparación en cuanto a rendimiento o producción de frutos en función del biochar y el % de sustitución de sustrato se presenta de acuerdo a promedios y no valores absolutos.

En la tabla 3 se muestra el promedio de cantidad de frutos, su diámetro promedio y su peso promedio para las plantas que llegaron hasta la etapa de cosecha. Cabe anotar que la clasificación de tomates (variedad Milano tropic) de acuerdo a su diámetro considera los tamaños: pequeño (hasta 47 mm), mediano (48-58 mm), grande (59-69 mm) y extra (mayores a 69 mm) [12].

En la tabla 3 se puede observar que BCA 50% dio mayor cantidad de frutos promedio, incluso que las plantas testigo, el diámetro promedio de los frutos de BCP 20%, BCP 50% y BCA 80% es bastante similar al diámetro promedio de los frutos de las plantas testigo; así como el peso promedio de los frutos de BCP 50% y BCA 80% con respecto al peso promedio de los frutos de las plantas testigo. Comparando los resultados para BCA 20% respecto a BCP 20% o para BCA 50% respecto a BCP 50%, no se puede afirmar que se exista alguna tendencia en cuanto a la productividad de la planta con respecto al tipo de biochar, pues en donde el sustrato se reemplazó con BCP se obtuvo menor cantidad de frutos promedio, pero su tamaño promedio es mucho mayor a los de las plantas donde se usó BCA.

Con base en el mercado, solo los tomates clasificados como extra o grandes pueden ser considerados para la exportación. En ese aspecto, las plantas con BCA produjeron 4 de 28 tomates en esta clasificación, las plantas con BCP 8 de 15 y los testigos 5 de 8. Para consumo interno, (generalmente pequeños y medianos cultivadores) tal clasificación puede ser irrelevante.

Con el objeto de comparar de manera global el rendimiento de los cultivos, la fig. 4 muestra la producción de tomates en términos de su peso (gramos de tomate producidos) para las plantas del estudio. En la fig. 4 se resalta que la cantidad de tomate producido (gramos) por las plantas con biochar en 50% (tanto BCP como BCA) es comparable con la cantidad de tomate producido por las plantas testigo (siendo sutilmente superiores para el BCP), lo que implica niveles de producción similares (en cuanto a gramos de tomate) utilizando solo la mitad de sustrato comercial en el cultivo.

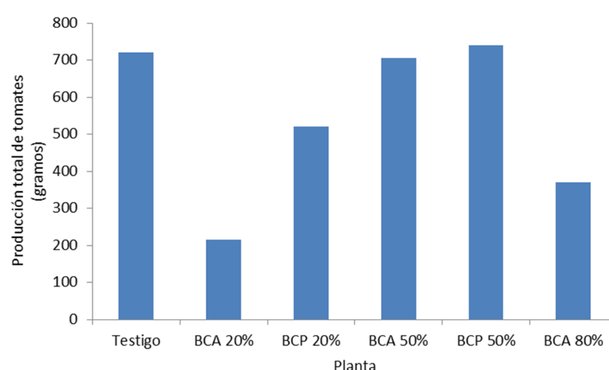


Figura 4. Comparación de la producción de tomate en términos del peso de los frutos

Estos resultados evidencian el potencial beneficio económico que el uso de biochar puede llevar a los agricultores, en especial pequeños y medianos, donde el tamaño del fruto no represente una variable significativa en la calidad del producto, toda vez que la cantidad de sustrato necesaria para un cultivo de varias hectáreas puede ascender a la magnitud de toneladas.

Planta	tipo de biochar	Cantidad de plantas que alcanzaron la cosecha	Cantidad de frutos (promedio)	Diámetro promedio (mm)	Peso promedio (g)
Testigo	-	2 de 2	4	59,9	95,8
1 (20%)	BCP	2 de 2	3,5	56,7	74,3
	BCA	1 de 2	9	38,1	24,0
2 (50%)	BCP	4 de 4	2	59,4	92,5
	BCA	3 de 4	5	49,6	53,0
3 (80%)	BCP	0 de 2	-	-	-
	BCA	1 de 2	2	61,5	92,3
4 (100%)	BCP	0 de 2	-	-	-
	BCA	0 de 2	-	-	-

Tabla 3. Comparación entre cantidad de frutos, diámetro y peso (promedios) para las plantas descritas en la tabla 1

Por otro lado, considerando que BCP y BCA se obtienen como desechos de procesos que aprovechan energéticamente materiales lignocelulósicos (incluyendo residuos agroindustriales), el hecho de reemplazar incluso el 20% del sustrato por uno de estos biochar puede significar no solo ahorros en la inversión para el cultivo, sino grandes beneficios en cuanto al impacto ambiental por valorar o darle uso a un residuo sólido

Una vez realizada la cosecha se suspendió totalmente el riego y 3 días después se pudo observar que las plantas con BCP (20% y 50%) mantenían un buen aspecto sin signos característicos de deterioro de hojas por falta de agua; contrario a lo observado en las plantas testigo y las plantas con BCA, aunque en estas últimas, los signos de deterioro fueron menores para BCA 80% y para BCA 50% (en ese orden). De esta observación se infiere que aparentemente la composición, textura o morfología de BCP ayuda a una mejor retención de agua, aspecto que puede resultar de gran interés para evaluar su desempeño como sustituto de sustrato o enmendador de suelos en zonas de mayor aridez o condiciones climáticas más severas.

IV. CONCLUSIONES

A partir de los resultados de esta investigación se puede concluir que: sustituyendo el sustrato comercial por biochar (de pino o de cascarilla de arroz) en proporciones de 20% y 50% para el cultivo de tomate a cielo abierto, los resultados de la cosecha son satisfactorios y comparables con los resultados para cultivos tradicionales (sin uso de biochar); sin embargo, la sustitución de sustrato por biochar en proporciones mayores parece afectar negativamente el cultivo (aparentemente por la deficiencia de nutrientes en el medio) ya que las plantas no alcanzaron su madurez fisiológica.

Desde el punto de vista económico y ambiental, el uso de biochar (incluso en proporciones bajas) implica altos beneficios para pequeños y medianos cultivadores, representados en menores costos en sustrato y la valoración o uso de un residuo sólido de procesos que aprovechan energéticamente materiales lignocelulósicos (incluso residuos agroindustriales).

RECOMENDACIONES

Se espera que estos resultados sean útiles como punto de partida para la evaluación o el estudio del uso de biochar como sustituto de sustrato comercial sobre otras variedades de cultivos con necesidades diferentes o con otros tipos de biochar, por ejemplo el obtenido a partir del aprovechamiento energético de los residuos generados en el mismo cultivo.

REFERENCIAS

[1]. J. Pérez, R. Barrera, and G. Ramírez, “Integración de plantaciones forestales comerciales Colombianas en conceptos de biorrefinería termoquímica: una revisión,”. *Colomb. Forest.*, vol. 18, pp. 273-294, 2015.

[2]. L. Suárez, “Caracterización de procesos y productos de valor agregado obtenidos mediante transformación termoquímica de maderas con potencial forestal en Colombia,” Maestría en Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 2016.

[3]. S. Jeffery, F. Verheijen, M. van derVelde, and A. Bastos, “A quantitative review of the effcts of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis,” *Agric. Ecosyst. Environ*, vol. 144, pp. 175-187, 2011.

[4]. A. Rajapaksha, D., Mohan, D. Igalavithana, S. Lee, and Y. Ok, “Definitions and Fundamentals of biochar,” En *Biochar production, characterization and applications* Ok, Y. (ed.). CRC Press, New York, 2016, pp. 3-16.

[5]. E. Graber, Y. Harel, M. Kolton, E. Cytryn, A. Silber, D. David, L. Tsechansky, M. Borenshtein, and Y. Elad, “Biochar impact in development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilles media,” *Plant Soil*, vol. 337, pp. 481-496, 2010.

[6]. J. Hunt, M. DuPonte, D. Sato, and A. Kawabata. “The basics of biochar: A natural soil amendment,” *Soil Crop Manage*, vol. 30, pp.1-6, 2010.

[7]. D. Laird, P. Fleming, D. Davis, R. Horton, B. Wang, and D. Karlen, “Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil,” *Geoderma*, vol. 158, pp. 443-449, 2010.

[8]. K. Spokas, K. Cantrell, J. Novak, D. Archer, J. Ippolito, H. Collins, A. Boateng, I. Lima, M. Lamb, A. McAloon, R. Lentz, and K. Nichols, “Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration,” *J. Environ. Qual.*, vol. 41, pp. 973-989, 2012.

[9]. J. Novak, and W. Busscher, “Selection and use of designer biochars to improve characteristics of Southeastern USA Coastal plain degraded soils,”. En *Advanced Biofuels and Bioproducts* Lee, J. (ed.), Springer, Norfolk (Va), 2013, pp 69-96.

[10]. J. Fernández, A. Nieto, E. López, G. Gasco, A. Méndez, and C. Palza, “Carbon dioxide emissions from semi-arid soils amended with biochar alone or combined with mineral and organic fertilizers,” *Sci. Total Environ.*, vol. 482-483, pp. 1-7, 2014.

[11]. J. Pérez, and L. Osorio, *Biomasa forestal como alternativa energética. Análisis silvicultural, técnico y financiero de proyectos.* Editorial Universidad de Antioquia Medellín. 2014.

[12]. J. Noreña, V. Rodríguez, M. Guzmán, and M. Zapata, "El cultivo de tomate bajo invernadero (Lycopersicon esculentum. mill)", Boletín Técnico 21, CORPOICA Centro de Investigación La Selva Rionegro, Antioquia, Colombia. 2006.

[13]. FAO. *Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Primera Edición. ed. Roma: Divergráficas, 2008.